

WPLYW WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ DIELEKTRYCZNĄ
IZOLACJI WARSTWOWEJ FOLIA POLIESTROWA - CIEKŁY AZOT

1. Wprowadzenie

Badania wytrzymałości dielektrycznej krótkotrwałej a następnie próby starzeniowe izolacji warstwowej folia poliestrowa - ciekły azot [1 ... 4] wykazały, że wytrzymałość dielektryczna takiej izolacji jest wystarczająco wysoka dla potrzeb kabli wysokonapięciowych, oraz że zachodzące w niej procesy starzeniowe pod wpływem pola elektrycznego mają zdecydowanie wolniejszy przebieg, niż w stosowanych obecnie konwencjonalnych układach izolacyjnych.

Wspomniane badania nie wyjaśniły jednak do końca sprawy odporności tej izolacji na wewnętrzne wyładowania niezupełne, które mogą w niej powstać, w przypadku wydzielenia z ciekłego azotu pęcherzyków gazowych. Może do tego dojść na skutek zakłóceń w dopływie ciekłego azotu, lokalnych, intensywnych nacieków ciepła z zewnątrz, lub miejscowych wzrostów stratności dielektrycznej. Teoretycznie, wyładowania niezupełne mogą pojawić się w dowolnym miejscu izolacji, jednak z punktu widzenia ich szkodliwości najbardziej krytyczny jest obszar styku z elektrodą wysokonapięciową (żyłą kabla) [5].

Na pytanie, jaką rolę w procesie starzenia izolacji warstwowej, impregnowanej ciekłym azotem odgrywają wyładowania niezupełne, spróbowano dać odpowiedź w oparciu o założenia teorii, doszukującej się związku między postacią "krzywej życia" izolacji oraz przebiegami wytrzymałości dielektrycznej w funkcji czasu starzenia [6, 7].

Zgodnie z tą teorią, różnice w mechanizmie starzenia izolacji powinny znaleźć odzwierciedlenie w różnych wartościach wytrzymałości elektrycznej, po tym samym czasie działania pola elektrycznego. Zakładając, że wyładowania niezupełne spowodują przyspieszenie procesów starzeniowych w izolacji folia - ciekły azot, powinno się obserwować wzrost spadków wytrzymałości z czasem w porównaniu z izolacją nie poddaną działaniu wyładowań.

Poza tym przyjęta metoda powinna umożliwić jakościową ocenę stopnia zagrożenia ze strony wyładowań dla izolacji folia - ciekły azot w porównaniu jakie stanowią one dla folii pracującej w powietrzu, w oleju lub w jakimś innym środowisku.

W przedstawionych w niniejszym artykule badaniach potraktowano wytrzymałość dielektryczną jako wskaźnik informujący o zasłansowaniu procesów starzeniowych w izolacji. Jednym z nich jest wytrzymałość dielektryczna mierzona przy napięciu stałym, drugim wytrzymałość dielektryczna mierzona przy napięciu przemiennym.

Kwestia interpretacji wyników jest w pewnym sensie otwarta. Badania wpływu wyładowań niezupełnych na izolację warstwową w ciekłym azocie są kontynuowane, zwłaszcza pod kątem rozpoznania roli, wymiarów i położenia źródeł wyładowań oraz związków między charakterem wyładowań a zmianami w strukturze dielektryku stałego, poddanego ich działaniu.

W czasie starzenia próbek mierzono intensywność wyładowań niezupełnych, wyznaczając maksymalny ładunek pozorny, częstotliwość powtarzania impulsów oraz rozkłady amplitudowe impulsów wyładowań. Wyniki pomiarów wytrzymałości opracowywano statystycznie według rozkładu Weibulla, wykorzystując do tego celu przygotowany na maszynie cyfrowe z serii ODRA 1300 program estymacji parametrów takiego rozkładu, metodą największej wiarygodności.

2. Układy elektrod, próbki

Badano folię poliestrową produkcji krajowej o grubościach 36 μm i 80 μm . Każda z nich była wykonana z tej samej partii polimeru wyjściowego.

Folię starzono w powietrzu i w ciekłym azocie w obecności wyładowań niezupełnych i bez wyładowań. Po różnych czasach starzenia mierzono wytrzymałość dielektryczną: dla folii 36 μm - przy napięciu stałym w układzie walec - płyta w oleju (rys. 1b), dla folii 80 μm - przy napięciu przemiennym w układzie kula - płaszczyzna w ciekłym azocie (rys. 1c).

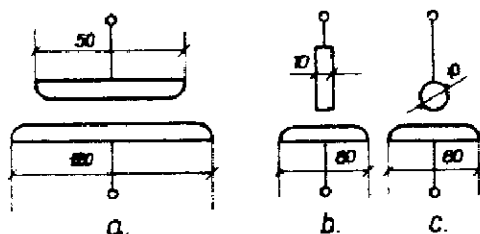
Do starzenia folii w obecności wyładowań użyto układu elektrod płaskich ze stali nierdzewnej (rys. 1a) z górną elektrodą zamocowaną na śrubie mikrometrycznej, co umożliwiała podniesienie jej nad powierzchnię folii na odległość dobieraną z dokładnością do 1 μm . Wyładowania niezupełne o kontrolowanej intensywności wymuszano w warstwie ciekłego azotu lub powietrza między elektrodą wysokonapięciową i próbką. Grubość tej warstwy dobrano eksperymentalnie tak, aby wyładowania obejmowały całą powierzchnię izolacji pod elektrodą a nie tylko obszar wokół jej krawędzi.

Najcieńsza warstwa ciekłego azotu, która spełniała ten warunek miała grubość 0,8 mm. Wyładowania niezupełne w takiej szczelinie, nawet przy napięciach bardzo bliskich napięciom jonizacji, powodowały natychmiastowe przebicie pojedynczych warstw folii. Dlatego w przypadku folii 36 μm starzono w polu elektrycznym (w powietrzu i w ciekłym azocie) 6 warstw jednocześnie, w przypadku folii 80 μm - 3 warstwy. Wytrzymałość dielektryczną, po określonych czasach starzenia mierzono dla pojedynczych warstw.

Maksymalny ładunek pozorny wyładowań niezupełnych mierzono miernikiem ERA DISCHARGE DETECTOR Model 4, rozkłady impulsów wyładowań wyznaczano przy pomocy dwóch zestawów analizatorów impulsów. Funkcje gęstości rozkładu impulsów, postaci dystrybuant empirycznych, średni prąd wyładowań itp. wyznaczano w oparciu o wyniki analizy impulsów przy pomocy maszyny cyfrowej.

3. Wpływ wyładowań niezupełnych na wytrzymałość dielektryczną folii 6te mierzoną przy napięciu stałym

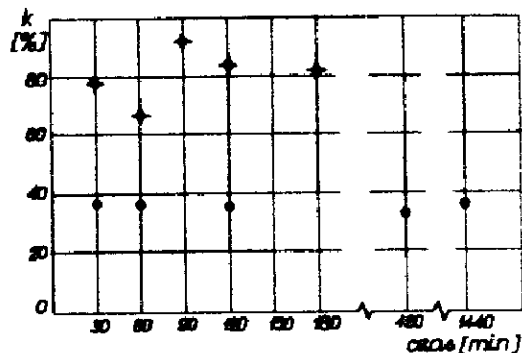
Sześciowarstwowe próbki folii poliestrowej 36 μm starzono w układzie elektrod z rys. 1a: w ciekłym azocie przy napięciu 8 kV, w powietrzu - - przy napięciu 4 kV. Część próbek; badanych w ciekłym azocie, miała wprowadzoną między folię i elektrodę wysokonapięciową warstwę ciekłego azotu o grubości 0,8 mm. W próbkach pozostałych elektrody przylegały do folii. Badania w powietrzu wykonano tylko dla próbek z warstwą powietrza 0,8 mm między folią i elektrodą górną.



Rys. 1. Układy elektrod

Po zadanyin czasie, próbki wyjmowano z kriostatn, suszono i dla pojedynczych warstw, w układzie elektrod z rys. 1b, mierzono wytrzymałość dielektryczną przy napięciu stałym [9, 10]. Napięcie podnoszono płynnie od zera, z tak dobraną prędkością, aby przebicia następowały po czasie równym w przybliżeniu 1 minucie. Pomiaru dla wyeliminowania wyładowań niezupełnych wykonywano w oleju.

Wytrzymałość dielektryczną folii niestarzonej, wyznaczona w oparciu o 100 pomiarów wynosiła 728 kV/mm. W stosunku do niej obliczano wytrzymałości poszczególnych warstw folii starzonej. Wyniki przedstawiono na rysunkach 2 ... 3, na których współczynnik k , oznacza średnią wartość stosunku wytrzymałości folii starzonej do wytrzymałości folii niestarzonej.

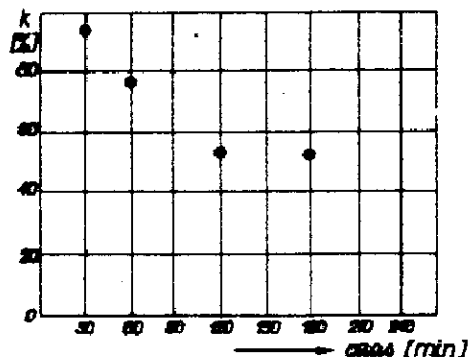


Rys. 2. Wytrzymałość dielektryczna pierwszych, górnych warstw folii po różnych czasach starzenia w polu elektrycznym izolacji warstwowej folia poliestrowa ($36 \mu\text{m}$) - ciekły azot, przy napięciu 8 kV, w stosunku do wytrzymałości folii niestarzonej. Pomiar wytrzymałości dielektrycznej przy napięciu stałym.

- - układ modelowy, z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między elektrodą wysokonapięciową i pierwszą warstwą folii,
- ✦ - układ z elektrodą górną przylegającą do folii.

Przy interpretacji wyników rozróżniano dwa przypadki: starzenie próbek w obecności intensywnych wyładowań niezupełnych, sztucznie wymuszonych nad powierzchnią folii w warstwie ciekłego azotu lub powietrza, oraz starzenie próbek w układzie z przylegającymi elektrodami do folii, jako przypadek starzenia izolacji bez oddziaływania intensywnych wyładowań.

W rzeczywistości, w tym drugim przypadku wyładowania również miały miejsce - stosunkowo silne wyładowania przy krawędziach, których wpływ na wyniki pomiarów wytrzymałości eliminowano wykonując pomiary w polu o średnicy ok. 70 mm a więc nie obejmującym strefy ich oddziaływania, oraz wyładowania między elektrodą górną i próbką o niesprecyzowanej intensywności, z powodu braku możliwości ich zmierzenia na tle dominujących wyładowań krawędziowych.

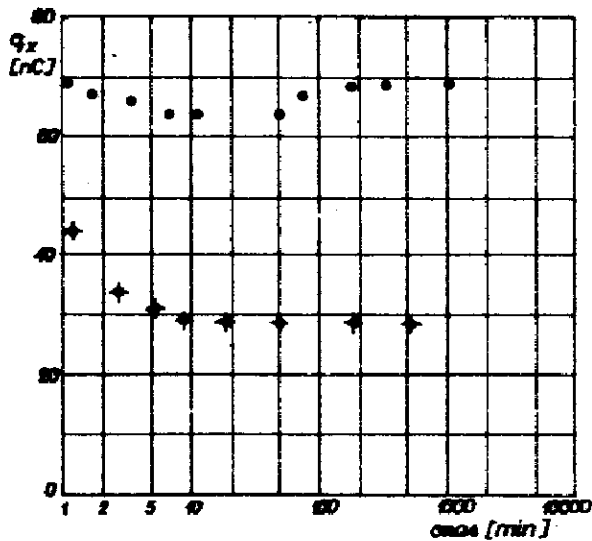


Rys. 3. Wytrzymałość dielektryczna, mierzona przy napięciu stałym pierwszych górnych warstw folii po różnych czasach starzenia w polu elektrycznym 6 warstwowych układów folia poliestrowa (36 μm) - powietrze, z warstwą powietrza o grubości 0,8 mm między elektrodą wysokonapięciową i folią, w stosunku do wytrzymałości folii niestarzonej. Napięcie probiercze - 4 kV.

Wpływ wyładowań niezupełnych na folię z punktu widzenia zmian wytrzymałości przy napięciu stałym, ma inny charakter dla powietrza niż dla ciekłego azotu. W powietrzu spadki wytrzymałości rosną z czasem działania wyładowań, w azocie są w szerokim zakresie (od 30 ... 1440 min.) praktycznie niezależne od czasu.

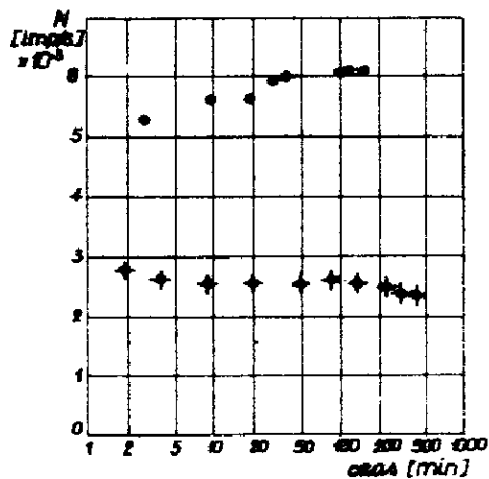
Wskazywałoby to na decydującą rolę pierwszych kilku minut, może nawet ułamków sekund, działania na izolację warstwową folia poliestrowa - ciekły azot wyładowań o określonej intensywności. Wyładowania o intensywności mniejszej, mogłyby wywołać wówczas mniejsze, również stałe w czasie spadki wytrzymałości.

Za przyjęciem takiej hipotezy przemawia również obraz zmian wytrzymałości folii starzonej w układzie elektrod przylegających do izolacji (rys. 2 - punkty oznaczone \diamond). Jak wspomniano, jest to przypadek, w którym wprawdzie mogą mieć miejsce wyładowania niepełne między elektrodą wysokonapięciową i pierwszą warstwą folii, lecz ich intensywność będzie zdecydowanie mniejsza od wyładowań w warstwie ciekłego azotu



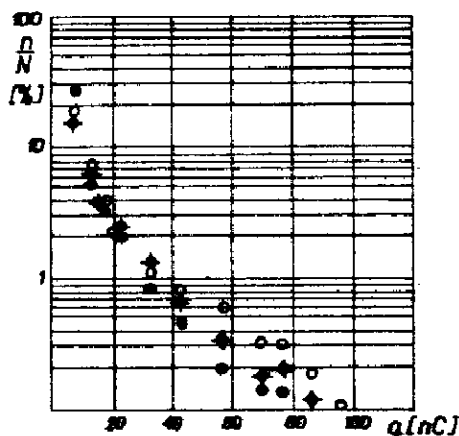
Rys. 4. Przebiegi maksymalnego ładunku pozornego wyładowań niesupełnych w funkcji czasu dla sześciowarstwowych układów folia poliestrowa ($36 \mu\text{m}$) ciekły azot, z warstwą ciekłego azotu między elektrodą wysokonapięciową i folią o grubości 0,8 mm

- - napięcie probiercze 8 kV,
- ✦ - napięcie probiercze 5 kV.



Rys. 5. Przebiegi częstotliwości powtarzania impulsów wyładowań niesupełnych w funkcji czasu, dla sześciowarstwowych układów folia poliestrowa ($36 \mu\text{m}$) - ciekły azot z warstwą ciekłego azotu, o grubości 0,8 mm, między elektrodą wysokonapięciową i pierwszą warstwą folii

- - napięcie probiercze 10 kV (impulsy zliczane w przedziale od 7,78 do 86,4 nC),
- ✦ - napięcie probiercze 8 kV (impulsy zliczane w przedziale od 6,91 do 96 nC)



Rys. 6. Funkcje gęstości rozkładów impulsów wyładowań niezupełnych dla sześciowarstwowych układów folia poliestrowa - ciekły azot, z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między elektrodą wysokonapięciową i pierwszą warstwą folii. Napięcie probiercze - 8 kV

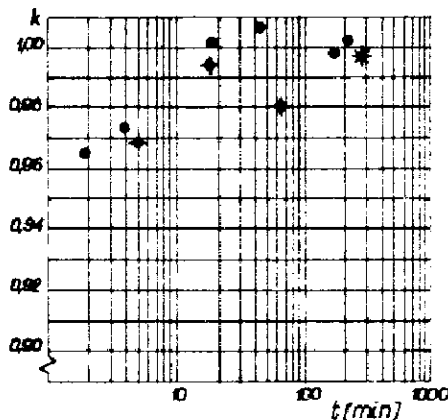
- - początek próby,
- ♦ - po 265 minutach,
- - po 1425 minutach trwania próby.

o grubości 0,8 mm. Poza tym mogą to być wyładowania o niejednakowym nasileniu w kilku kolejnych próbkach i to tłumaczyłoby rozrzuty w wartościach współczynników k na rys. 2 (punkty oznaczone przez ♦). Pomijając jednak przedział rozrzutów, współczynniki k utrzymują się w czasie na stałym w przybliżeniu poziomie.

Na rysunku 4 ... 6 przedstawiono wyniki pomiarów wyładowań niezupełnych dla próbek z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między folią i elektrodą wysokonapięciową. Widać z nich, że wyładowania niezupełne w takim układzie są bardzo stabilne w czasie. Nie obserwowano wygaszania wyładowań a odchylenia w wartościach ładunków q_x lub częstotliwościach powtarzania impulsów nie przekraczały w kolejnych próbkach 10 procentów.

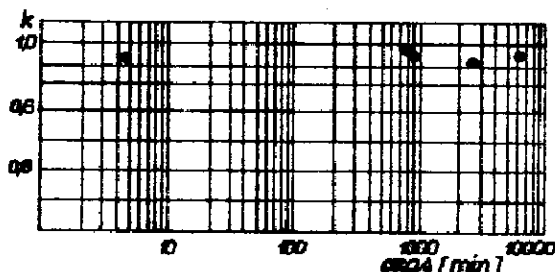
4. Wpływ wyładowań niezupełnych na wytrzymałość dielektryczną folii pte mierzoną przy napięciu przemiennym

3 warstwowe próbki folii poliestrowej ($80 \mu\text{m}$) starzono w ciekłym azocie w układzie elektrod z rys. 1a. Jedna seria badań obejmowała próbki z warstwą ciekłego azotu o grubości $0,8 \text{ mm}$ między folią i elektrodą wysokonapięciową, druga próbki z elektrodami przylegającymi do folii. Po zadanych czasach starzenia, próbki przenoszono do innego kriostatu z ciekłym azotem, gdzie dla pojedynczych warstw folii wyznaczano wytrzymałość doraźną przy napięciu przemiennym. Napięcie podnoszono, podobnie jak w punkcie 3, z tak dobraną prędkością, aby po czasie ok. 1 minuty doszło do przebicia [6, 7]. Napięcie przebicia folii niestarszonej, wyznaczone w oparciu o 100 pomiarów, wynosiło $8,66 \text{ kV}$. W stosunku do tej wartości obliczano procentowe spadki napięć przebicia folii, po różnych czasach starzenia. Wyniki przedstawiono na rys. 7, 8.



Rys. 7. Wytrzymałość dielektryczna, mierzona przy napięciu przemiennym, pierwszych górnych warstw folii, po różnych czasach starzenia w polu elektrycznym trzywarstwowych próbek folia poliestrowa ($80 \mu\text{m}$) - ciekły azot, z warstwą ciekłego azotu o grubości $0,8 \text{ mm}$ między elektrodą wysokonapięciową i folią, w stosunku do wytrzymałości folii niestarszonej.

- ✦ - napięcie probiercze - $11,25 \text{ kV}$,
- * - napięcie probiercze - $10,75 \text{ kV}$,
- - napięcie probiercze - $12,3 \text{ kV}$.



Rys. 8. Wytrzymałość dielektryczna mierzona przy napięciu przemiennym, pierwszych górnych warstw - warstw folii, po różnych czasach starzenia w polu elektrycznym 3 warstwowych próbek folia poliestrowa - ciekły azot (grubość folii 80 μm) z elektrodami przylegającymi do izolacji, w stosunku do wytrzymałości folii niestarzonej. Napięcie próbiercze - 9 kV

Zarówno dla przypadku starzenia folii w obecności wysuszonych w warstwie ciekłego azotu, intensywnych wyładowań niezupełnych o średniej wartości ładunku pozornego $q_x = 180 \text{ nC}$ i częstotliwości powtarzania impulsów równej od 4000 ... 6000 s^{-1} , jak i dla przypadku starzenia folii w układzie z przylegającymi elektrodami (wyładowania nie przekraczały wówczas 150 pC) nie zanotowano zmian wytrzymałości z czasem. Nie zaobserwowano również wpływu napięć starzenia w możliwym do sprawdzenia zakresie, tzn. od wartości 10,75 kV, przy której dopiero wyładowania w warstwie ciekłego azotu nad folią miały charakter wyładowań stabilnych do 12,3 kV przy której przebicia próbek następowały po kilkunastu minutach. Powstaje pytanie, czy należało tego oczekiwać?

Jeżeli przyjąć, że wytrzymałość pojedynczej warstwy folii w ciekłym azocie wynosi w przybliżeniu 108 kV/mm a napięcie próbiercze 9 kV dla 3 warstw folii 80 μm daje natężenie pola 37 kV/mm, to stosunek natężenia próbierczego do wytrzymałości wynosi $g = 0,34$. Przyjmujemy dalej w oparciu o badania krzywych życia dla izolacji folia PES - ciekły azot [2.3].

że współczynnik potęgowy w równaniu $E^N \cdot t = \text{const}$, $N = 60$. Pytamy po jakim czasie, zgodnie z teorią Simoniego [7] wytrzymałość dielektryczna folii spadnie o 5%, 10%, 20% i 90%. W obliczeniach przyjmujemy za [6] [8] oznaczenie stosunku wytrzymałości folii starzonej do wytrzymałości folii niestarzonej jako ϵ_p .

Wyniki przeliczeń podano w tabelicy I, w której obok obliczeń dla $N = 60$, podano odpowiednie przeliczenia dla $N = 25$ (patrz punkt 5 artykułu).

T a b l i c a I

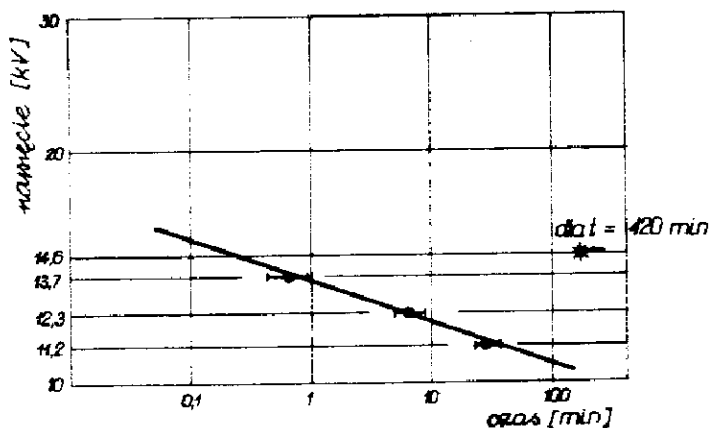
Lp.	ϵ	ϵ_p	N	czas w min.
1	0,34	0,95	60	$1,235 \cdot 10^{28}$
2	0,34	0,95	25	$3,82 \cdot 10^{11}$
3	0,34	0,90	60	$1,242 \cdot 10^{28}$
4	0,34	0,90	25	$4,832 \cdot 10^{11}$
5	0,34	0,80	60	$1,244 \cdot 10^{28}$
6	0,34	0,80	25	$5,149 \cdot 10^{11}$
7	0,34	0,10	60	$1,24425 \cdot 10^{28}$
8	0,34	0,10	25	$5,1612 \cdot 10^{11}$

Nawet przy $g = 0,6$ spadek wytrzymałości do 95% wartości wyjściowej nastąpi zgodnie z teorią Simoniego dopiero po czasie $3,26 \cdot 10^{11}$ godz. dla izolacji o $N = 60$ i po czasie $4,316 \cdot 10^3$ godz. dla izolacji o $N = 25$. W przypadku badań w ciekłym azocie, kontynuowanie prób przez czas dłuższy niż 1500 godzin jest jednak ze względów technicznych sprawą niezwykle trudną.

5. Krzywa życia izolacji folia poliestrowa - ciekły azot z warstwa ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między elektroda wysokonapięciowa i górną warstwą folii

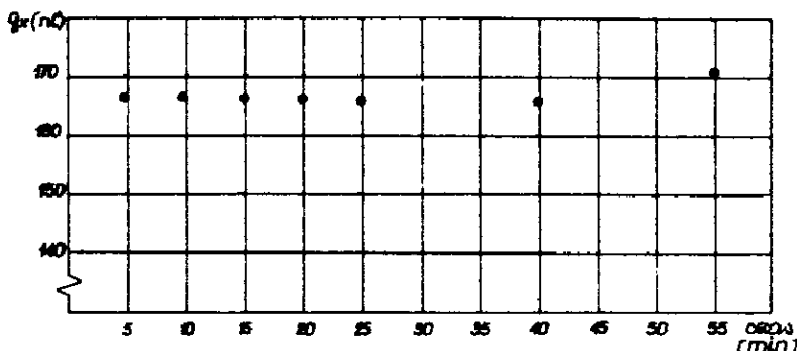
Moję wyładowań niezupełnych w starzeniu izolacji folia poliestrowa - ciekły azot spróbowano również ocenić poprzez wykonanie klasycznych, napięciowych prób starzeniowych tzn. poprzez wyznaczenie czasów życia od natężenia pola elektrycznego. Wybrano 3 warstwowe próbki folii PTE 80 μm , z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm nad górną warstwą folii. W badaniach tych wykorzystano możliwość wymuszenia w sztucznie wprowadzonej warstwie ciekłego azotu, stabilnych w czasie wyładowań niezupełnych, jeżeli przykładano napięcie zanim elektrody uległy dokładnemu schłodzeniu oraz fakt, że po dokładnym schłodzeniu próbek, wyładowania "zapalały się" przy wyższych natężeniach pola.

Wyniki pomiarów czasów do przebicia opracowano według rozkładu Weibulla na m.c. ODRA 1305. Krzywą życia na rys. 9 wyznaczono w oparciu o mediany rozkładów czasów do przebicia.



Rys. 9. Zależność czasów do przebicia od napięcia dla 3 warstwowych próbek izolacji folia poliestrowa (80 μm) - ciekły azot, z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między elektroda wysokonapięciowa i próbka:

- - w warunkach oddziaływania na folię intensywnych wyładowań niezupełnych,
- * - dla próbek nie poddanych działaniu wyładowań.



Rys. 10. Przebiegi maksymalnego ładunku pozornego wyładowań niezupełnych w funkcji czasu dla 3 warstwowych próbek izolacji folia poliestrowa - ciekły azot (folia o grubości 80 μm), z warstwą ciekłego azotu o grubości 0,8 mm między elektrodą wysokonapięciową i pierwszą warstwą folii. Napięcie probiercze - 11,25 kV

Wykładnik potęgowy w równaniu E^N . $t = \text{const}$ wynosi dla tego przypadku $N = 25$, jest więc znacznie wyższy niż dla różnych rodzajów układów izolacyjnych do pracy w temperaturach normalnych.

Płaskie nachylenie krzywej życia otrzymano, mimo bardzo intensywnych wyładowań niezupełnych, w żadnym wypadku niedopuszczalnych w konwencjonalnej izolacji (rys. 10).

Punkt oznaczony na rys. 9 przez * odpowiada starzeniu próbek po dokładnym ich schłodzeniu, kiedy wyładowania niezupełne o q_x większym od 20 pC nie miały miejsca.

Widoczny jest bardzo wyraźny wpływ wyładowań niezupełnych na poziom dopuszczalnych natężeń pola elektrycznego, jednak przebieg procesów starzeniowych, mimo obecności wyładowań rzędu 160 nC przy częstotliwości powtarzania impulsów do 6000 s^{-1} jest bardzo wolny. Czy jest to równoznaczne z możliwością dopuszczenia w takiej izolacji do wyładowań niezupełnych, nawet tak intensywnych? Wydaje się, że na odpowiedź jest jeszcze za wcześnie. W każdym razie wyniki wcześniejszych prac [2...4] oraz badań przedstawionych teraz, wskazują na taką ewentualność.

6. Uwagi końcowe

Przedstawiono wyniki badań wytrzymałości dielektrycznej folii poliestrowej, poddanej działaniu wyładowań niezupełnych w środowisku ciekłego azotu i powietrza. Nie zanotowano zmian w wytrzymałości folii mierzonej przy napięciu przemiennym, w zakresie czasów starzenia do 120 godzin. Odwrotnie, wytrzymałość mierzona przy napięciu stałym spadała już po kilku minutach działania wyładowań niezupełnych na folię do dwudziestu kilku procent wartości wyjściowej.

Krzywa życia wyznaczona dla izolacji folia PTE - ciekły azot, w warunkach oddziaływania intensywnych wyładowań niezupełnych, charakteryzowała się bardzo płaskim przebiegiem, wskazującym na wolny przebieg procesów starzeniowych w takiej izolacji.

Literatura

1. Buliński A., Żak W. - Wytrzymałość dielektryczna układów warstwowych dielektryk stały - ciekły azot (II Sympozjum PAN i Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej nt. Zastosowanie niskich temperatur w elektrotechnice - Wrocław, 1972, str. 33 - 50).
2. Buliński A., Żak W. - Badania starzeniowe w polu elektrycznym izolacji warstwowej opartej o ciekły azot (Prace Naukowe Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, No. 6, 1973, str. 44 - 68).
3. Buliński A., Juchniewicz J. - Voltage Ageing Tests of Layer Insulation Samples Impregnated with Liquid Nitrogen (CIGRE 1974, Rep. 15-02).
4. Buliński A., Juchniewicz J., Żak W. - Teilentladungen und Alterung der mit flüssigem Stickstoff getränkten Schichtisolierung (XIX Inter. Wiss. Kolloquium, 14...18.X.74, TH Ilmenau DDR, Heft 2, 33 - 37).

5. Kreuger F.H. - Determination of the Internal Discharge Resistance of Dielectric Materials (IEEE Trans., Elect. Insulation, Vol. EI-3, No. 4, 1968, pp. 106).
6. Simoni L. - A New Approach to the Voltage Endurance Test on Electrical Insulation (IEEE Trans. Elect. Insulation, Vol. EI-8, No. 3, 1973, pp. 76 - 86).
7. Hiroshi Shiomi - Application of Cumulative Degradation Model to Acceleration Life Test (IEEE Trans. Reliability, Vol. R-21, No. 1, 1972, pp. 2 - 11).
8. Simoni L. - Voltage Endurance of Electrical Insulation (Lectures delivered at the Technical University of Wrocław on November 1974 - Bologna, Istituto di Elettrotecnica Industriale, December 1974).
9. Lisiecki J. - Badania wytrzymałości dielektrycznej, jako kryterium starzenia wyładowaniami niezupełnymi folii poliestrowej (Raport Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej nr IM-I-7/8/73, 1973 r.).
10. Lisiecki J. - Badanie wpływu starzenia jonizacyjnego, ciepłego i promieniami ultrafioletowymi na doraźną wytrzymałość elektryczną folii izolacyjnych (Raport Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, Nr IM-17/R/39/74, 1974 r.).